

Exercice 1 Indiquer la bonne réponse et justifier:

- L'énergie d'un photon de pulsation ω s'exprime :
 a) $E = h\omega$ b) $E = -\hbar\omega$ c) $E = h\omega/c$ d) $E = \hbar\omega$
- Quand on ajoute à un semi-conducteur une impureté de type donneur, chaque atome est ionisé:
 a) gagne un électron et devient un ion négatif b) perd un électron et devient un ion positif
 c) devient neutre.
- L'amplification dans une diode laser se réalise à cause de :
 a) la réflexion des photons sur les miroirs de la cavité b) la réflexion des électrons sur les bords de la couche active c) le confinement des porteurs par les barrières de potentiel.
- L'effet d'avalanche entraîne l'amplification interne du photocourant d'une photodiode :
 a) Vrai b) Faux
- Une fibre optique dont l'indice de réfraction du cœur est sous la forme: $n(r) = n_1 \sqrt{1 - 2\Delta \frac{r^2}{a^2}}$ est une fibre :
 a) monomode b) à profil parabolique c) à saut d'indice

Exercice 2 On considère un guide d'onde planaire symétrique d'épaisseur $h = 30\mu\text{m}$, d'indice $n = 1.45$, la couche coeur est plongée dans un milieu d'indice $n_1 = 1.42$. Les modes TE se propagent dans le guide avec des constantes de propagation longitudinales β pour les angles θ : $\beta = \frac{2\pi}{\lambda} n \sin \theta$. Une section planne est dans le plan (xoz) et $\vec{\beta} // Oz$. La longueur d'onde utilisée est $\lambda = 1.33\mu\text{m}$

- Montrer que les valeurs de β sont quantifiées, donner une expression de β en fonction de λ , h et n . Calculer par suite le nombre des modes qui peuvent être guidés dans tel guide.
- Pour quelles valeurs de h le guide devient monomode.
- On suppose que l'angle d'incidence du mode TE sur l'interface $n - n_1$ est θ et l'angle de transmission dans le milieu n_1 est θ_1 . Donner une expression du champ électrique de l'onde transmise (E_t), si le champ incident est de la forme

$$E_i = E_0 \exp \left[-j \left(\omega t - n \vec{k} \cdot \vec{r} \right) \right]$$

avec \vec{k} est le vecteur d'onde et \vec{r} est le rayon vecteur, discuter la variation de l'amplitude de (E_t) avec θ , que se passe-t-il si $\theta > \theta_\ell = \arcsin \frac{n_1}{n}$.

- Expliquer brièvement le phénomène de Goos-Hanchen. Calculer la profondeur de pénétration de Goos-Hanchen dans le milieu n_1 .

Exercice 3 On considère la réflexion d'une onde plane provenant d'un milieu d'indice de réfraction $n_1 = 1,5$ sur un milieu d'indice $n_2 = 1$, les deux milieux étant séparés par un dioptré plan.

1. Calculer l'angle critique de réflexion totale.
2. On désigne par θ_1 l'angle d'incidence et par θ_2 l'angle de réfraction. Pour $\theta_1 = 60^\circ$ calculer les déphasages à la réflexion φ_\perp et $\varphi_{//}$ pour les deux états de polarisations.
3. De combien les champs sont-ils atténués dans le milieu n_2 à la distance $z = \lambda_0$ de l'interface ($\theta_1 = 60^\circ$), λ_0 est la longueur d'onde dans le vide.

Exercice 4 On considère un système de liaison par fibre optique pour la transmission des informations numériques de 35Mbits/s sur une distance de 30 km avec une probabilité d'erreur 10^{-9} , constitué des éléments suivants :

* Une interface optique contenant une diode laser de couche active en GaAs ($\varepsilon = 13$) de dimensions : $250 \times 10 \times 0.5 \mu\text{m}^3$, d'efficacité quantique $\eta = 45\%$ elle émet de la lumière de longueur d'onde $\lambda = 0.85 \mu\text{m}$, de largeur spectrale $\Delta\lambda = 0.01 \mu\text{m}$ et de puissance optique moyenne 3 mW munie d'une fibre amorcée. La perte intrinsèque totale dans la couche active vaut $\alpha_i = 500 \text{m}^{-1}$.

* Un système de réception constitué d'une photodiode à avalanche de facteur de multiplication $M = 50$, d'efficacité quantique $\eta_d = 75\%$, de résistance de charge $R_d = 10 \text{k}\Omega$ et de capacité $C_d = 6 \text{pF}$ et d'un amplificateur à intégration en tête de résistance $R_A = 8 \text{k}\Omega$.

* 3 fibres optiques à saut d'indice identiques chacune de longueur 10 km d'indice de gaine 1,48, celle du coeur 1.5 et de rayon du coeur $40 \mu\text{m}$. La perte linéique totale est $\alpha_f = 0.9 \text{dB/km}$. Les pertes de liaison fibre - fibre sont équivalentes à 0.2 dB sur chaque liaison et celles de connexion fibre - détecteur et fibre - source sont 1dB chacune.

1. Calculer le nombre des modes longitudinaux excités dans la couche active de diode laser et la valeur du gain de seuil.
2. Calculer la durée de vie d'un photon dans la cavité.
3. Sachant que la densité de courant de seuil de diode laser est $j_s = 3.106 \text{A/m}^2$. Calculer la valeur de l'intensité du courant qui nous donne la puissance optique émise à l'extérieur indiquée ci-dessus.
4. Calculer le nombre maximal des modes guidés dans la fibre en négligeant la dispersion.
5. Etablir la formule de l'ouverture numérique et calculer la valeur de l'angle d'acceptance.
6. Etablir la formule de dispersion intermodale et calculer sa valeur.
7. Sachant que le coefficient de dispersion chromatique est $M_d = 70 \text{ps/nm/km}$. Calculer la valeur de dispersion totale et la bande passante de la fibre, en négligeant la dispersion du guide. On admet que la bande passante par une unité de longueur est $B_f = \frac{1}{\Delta\tau}$
8. Calculer l'intensité du courant généré par la photodiode.
9. Si le facteur d'excès de bruit de photodiode est $F(M) = 10^{-4}$ et le facteur de bruit d'amplificateur est $F_n = 1$. Estimer la valeur du rapport signal à bruit au niveau de détecteur, sachant que le courant d'obscurité a une intensité $I_o = 2 \text{nA}$ à la température 23°C .
10. On remplace la photodiode à avalanche par une autre photodiode PIN de sensibilité spectrale 0.5A/W . Déterminer la puissance optique demandée pour avoir la même probabilité d'erreur 10^{-9} .